

## Correlación entre equipo de Torvane y Compresión Simple en limos y loess de la ciudad de Córdoba

### Correlation between Torvane test and Unconfined Compression test in limos and loess of Córdoba City

CRUZ, María Pía

Universidad Católica de Córdoba – [ingmariapiacruz@gmail.com](mailto:ingmariapiacruz@gmail.com)-2009

#### RESUMEN

El desarrollo de este trabajo tiene como principal objetivo obtener un ábaco de correlación donde conste, en abscisas, la resistencia al corte no drenado (Su) según el *Torvane Test* y, en ordenadas, la resistencia al corte no drenado según el ensayo de compresión simple, ambos bajo contenido de humedad natural. El equipo del *Torvane Test* es de uso manual, portátil y permite una ejecución rápida, tanto sea en campo como en laboratorio. Mientras que el ensayo de compresión simple demanda gran dedicación para el tallado, ensamble y ensayo propiamente dicho, solamente posibles en un laboratorio preparado al efecto. Concluyendo, empleando el *Torvane Test* es posible obtener a priori, un valor expeditivo para el “Su”, para su aplicación en los suelos finos de la ciudad de Córdoba.

#### ABSTRACT

The development of this test carries the main objective of obtaining an abacus of correlation in which x axis, is stated the undrained shear strength (Su) according to the Torvane test and, in y axis, the undrained shear strength according to the unconfined compression test, both of them under the natural humidity level. The Torvane test unit is manual and portable, it also allows a fast performance in a field environment as well as in a laboratory. However, the unconfined compression test requires a mayor dedication in the engraving, assembly, and in the test itself which is only possible to be performed in a well-prepared laboratory. To conclude, due to the use of the Torvane Test, it is possible to obtain an efficient Su value beforehand, in order to be deployed in the fine soils of Cordoba city.

#### 1 ORIGEN DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

El proceso geológico formacional de los principales suelos finos que más abundan en la provincia de Córdoba —limo y loess— es distinto para ambos. En efecto, las mayores diferencias radican, en general, en su origen geológico más que en su distribución granulométrica. Así, el limo corresponde a un sedimento re-depositado luego de una ocurrencia fluvial mientras que el loess es netamente eólico (*Frenguelli, 1955; Clemente et al. 1980; Manzur, 1995*). A un suelo loésico, dentro de la mecánica de suelos clásica, se lo puede clasificar —según el *Sistema de Clasificación Unificada*— dentro de alguno de los siguientes grupos: ML, CL ó CL-ML (*Moll, et al., 1991*).

Uno de los primeros mapas geológicos de limos y loess de la ciudad de Córdoba fue desarrollado por el *Dr. Guillermo Bodenbender* en 1890, donde los suelos encontrados a orillas del río Suquía y del arroyo La Cañada (o de los paleo-cauces que llegan a ellos) corresponden, principalmente, a depósitos fluviales modernos mientras que hacia afuera de estos cauces, se asientan las formaciones eólicas. Otro autor local (*Reginatto, 1970*) confeccionó un plano geotécnico de distribución de suelos para la ciudad de Córdoba que, en la actualidad, es un referente para la propia Municipalidad (Fig. 1). En forma más específica, fue otro autor (*Frenguelli, 1923*) quien describió el perfil típico existente a orillas del Suquía, o sea, el sector de alumbramiento del limo entre otros tipos de suelos.

Si bien aquí no se intenta abarcar mayores detalles formacionales de los loess y limos, lo anterior es a modo de introducción de una referencia local de los suelos empleados en el presente análisis.

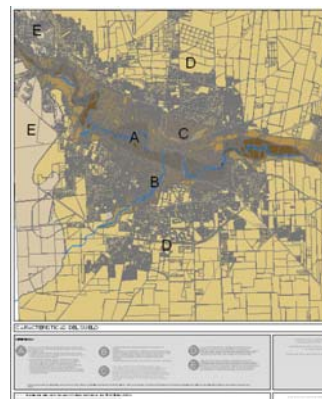


Figura 1: Distribución y características de los suelos de Córdoba (Reginatto, 1970)

#### 2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL ENSAYO DE LA VELETA

El ensayo de veleta fue uno de los primeros procedimientos desarrollados para la determinación *in situ* de la resistencia al corte no drenado de un suelo. Fue *John Olsson* quién, para el proyecto de pilotes de un puente construido en Estocolmo entre 1917 a 1926, desarrolló el primer prototipo del equipamiento de veleta con el objetivo de determinar el coeficiente de reacción horizontal del suelo. La geometría de las veletas y el procedimiento utilizados por *Olsson*, difieren de los actuales. Fue re-

cién a partir de la década del '40 cuando el interés en el equipamiento de la veleta cobró nuevos bríos en Europa.

Así, el equipamiento de la veleta moderna fue presentado por *Lyman Carlsson* en la 2da conferencia de Róterdam en 1948. Después de dos años apareció el equipo de *Cadling*, que presentaba un desarrollo de medidas y de velocidades de rotación que hacen al equipo actual de la veleta.

### 3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ENSAYO DE LA VELETA

El ensayo de veleta es el más utilizado para la determinación de la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) en un suelo blando a poca profundidad. Consiste en la rotación a una velocidad constante, durante un corto período de tiempo, de una veleta cruciforme a profundidades predeterminadas, para el caso del ensayo *in situ*, ó sobre muestras inalteradas ó remoldeadas, para el ensayo de laboratorio.

El par torsor "T" aplicado está equilibrado por el momento de las reacciones de corte del suelo sobre la superficie circunscrita a la veleta. Así, "T" crece hasta lograr la ruptura del suelo (valor pico), que se manifiesta por una disminución brusca de la fuerza aplicada. A continuación, sucede una estabilización del momento, que si bien es inferior al valor máximo no es nulo (valor residual). Por lo tanto el ensayo admite que la tensión de corte máxima (pico), igual a la cohesión no drenada, está íntimamente relacionada a la superficie circunscrita a la veleta. A la luz de lo anterior, la medida del torque "T" pico sobre el área circunscrita por la veleta permite la determinación de los valores "Su" del suelo según lo establece la ec. (1):

$$S_u \approx \frac{2T}{\pi d^3 \left( \frac{h}{d} + 1/3 \right)} \quad (1)$$

En la hipótesis de una condición no drenada en suelos isotrópicos, con "Su" constante en el entorno de la paleta y altura "H" igual al doble del diámetro "D" de la paleta, se puede demostrar que ec. (1) es según Hachich (et al., 1998) la ec. (2):

$$S_u \approx \frac{0.86}{\pi d^3} T \quad (2)$$

Otros cálculos más realistas no admiten una distribución uniforme de tensión sobre la superficie circunscrita a la veleta. En el caso de una veleta rectangular, por ejemplo, el suelo sobre la superficie cilíndrica entrará en plasticidad, mientras que sobre los discos extremos estará aún en elasticidad (*Casan, 1982*).

*Wroth*, mediante resultados experimentales, demostró que la hipótesis de "Su" constante en la cima y en la base de la paleta no se verifica, siendo la mejor aproximación la variación parabólica de "Su" creciente con el radio de la paleta, la que más se aproxima a valores numéricos. Como consecuencia la ec. (2) proporciona, en teoría, resultados conservadores, del orden del 9 %. Otros autores utilizan la hipótesis de "Su" como linealmente creciente con el radio de la veleta, con lo cuál se estaría siendo conservador solo en un 5% respecto de lo indicado por la ec. (2).

### 4 FACTORES QUE AFECTAN LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA VELETA ~

Los principales factores que deberían tenerse presente en los resultados de los ensayos de la veleta según *Hachich et al. (1998)*, son:

- Forma y dimensiones de la veleta

- Inserción de veleta en probeta del edómetro
- Velocidad de rotación de la veleta
- Tiempo entre el clavado y la rotación de la veleta
- Fricción

Aquí se destaca que para el ensayo de Torvane, empleado para la presente correlación, se emplearon probetas ensayadas a la compresión confinada (edómetro) dentro de un ambiente controlado como es el laboratorio.

### 5 ETAPAS DEL ENSAYO TORVANE

#### 5.1 Preparación de la probeta

La ejecución del ensayo Torvane fue sobre una probeta de suelo de laboratorio —que se encontraba saturada, luego de sometida a los distintos saltos de carga del ensayo de compresión confinada, una vez retiradas las piedras porosas y manteniéndola dentro del aro de bronce—. A partir de esto, el procedimiento de utilización del equipo de corte Torvane implicó los siguientes pasos (ver Fig 2):

**Paso I:** Anexar al eje conductor de la veleta el disco de acople correspondiente al rango de resistencia al corte del suelo a ensayar —atento a la experiencia que se tenga del orden de magnitud del "Su"—. Poner a cero la escala interna de medición, localizada en la cabeza del equipo Torvane. Esta escala proporcionará el valor de " $S_{u\text{torvane}}$ ".

**Paso II:** Introducir, cuidadosamente, en forma centrada y perpendicular a la superficie del suelo, el eje conductor de la veleta con el disco sobre la probeta de suelo que esta contenido en el aro edométrico.

**Paso III:** Girar la corona externa en sentido horario sujetando firmemente la muestra de suelo contenida en el aro. El tiempo de rotación, hasta llegar a la falla, es de 5 a 10 segundos. Medir donde quedó la marca de la corona externa en la escala interna, luego que la probeta experimentó la falla.

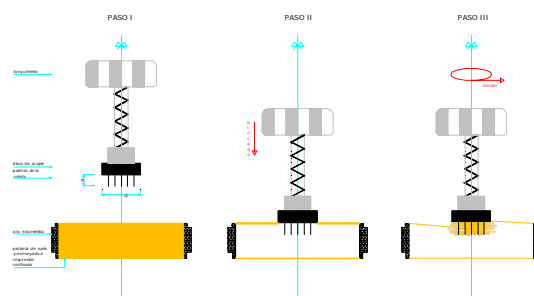


Figura 2: Etapas del ensayo Torvane

### 6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO TORVANE ( $S_{u\text{TORVANE}}$ ) RESPECTO DEL DE COMPRESIÓN SIMPLE ( $S_{u\text{REAL}}$ )

Es importante destacar que la probeta de suelo, después de haber sido ensayada a la compresión confinada, posee una estructura modificada respecto de la inicial, natural, dado que existió disminución del volumen inicial (relación de vacíos "eo"). Además, el propio ensayo de la veleta implica un cizallamiento rápido del suelo que, por tal inmediatez, no permite el drenaje del agua en la probeta edométrica (ensayo no drenado).

Respecto del ensayo de compresión simple, es no consolidado y no drenado, sin que la probeta de suelo ensayada se sature previamente al mismo.

Dadas las características propias de ambos ensayos, se generó la duda de si se estaban correlacionando adecuadamente valores comparables de “Su” dentro de un entorno razonable. La respuesta se obtuvo al leer el instructivo del equipo Torvane, que admite el ensayo a partir de una probeta edométrica a fin de obtener un valor de “Su” preliminar. Por lo tanto, la correlación de dos valores de “Su” cuyos orígenes son distintos (uno vía Torvane y el otro vía compresión simple), implicó la determinación de un parámetro adimensional —la razón “ $Su_{real}/Su_{torvane}$ ”— para las probetas de limos y loess ensayadas. A continuación, se traen a colación las correlaciones de  $\lambda$  desarrolladas por Bjerrum (1974) ec. (3) y, posteriormente, por Morris y William (1994) ec. (4).

$$Su_{cs} \approx \lambda Su_{torvane}$$

siendo

$$\lambda : \text{factor de corrección} = 1.7 - 0.54 \log(IP) \quad (3)$$

$$\lambda : 1.18e^{-0.08(IP)} + 0.57 \text{ para } IP > 5$$

$$\lambda : 7.01e^{-0.08(LL)} + 0.57 \text{ para } LL > 20 \quad (4)$$

## 7 COMENTARIOS GENERALES ACERCA DE LA RESISTENCIA NO DRENADA

La resistencia no drenada “Su” es un tema complejo, tanto sea por la ejecución de ensayos (caso práctico) como por el análisis de gabinete (caso teórico). La mencionada correlación de Bjerrum (1974), para obtener “Su” a partir de los ensayos de veleta en suelos finos, utiliza el análisis de estabilidad de fricciones. De acuerdo con Sandroni (1993), la consideración de resistencia por fricción requiere juzgarse en cada probeta de suelo. Además la verificación del “Su” en laboratorio tiende a ser la más cercana al valor final exacto pero sin olvidar que en todo ensayo existen limitaciones o condiciones de borde del ensayo por más controlado que sea el ambiente de laboratorio.

En el caso de la resistencia no drenada en laboratorio (ensayo de compresión simple), el procedimiento se ve está afectado por la alteración de la muestra de suelo durante su traslado desde el campo, el tallado de la probeta por parte del operador y los errores de instrumentos durante el ensayo propiamente dicho.

A todo lo anterior se suman los factores que influyen en los resultados del ensayo Torvane. En el cálculo teórico del valor de “Su”, a través de la teoría de los estados críticos, se requiere del conocimiento de la historia de tensiones de todo depósito sub-superficial analizado.

Por lo tanto existen varios puntos de vista prácticos y teóricos que afectan al estudio, ejecución e interpretación de los valores de la resistencia no drenada “Su”. Por ende, es difícil encontrar una única razón adimensional para limos y loess en función de ambos equipos (Torvane Vs. Compresión Simple).

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una breve descripción de los orígenes de los limos y loess de la ciudad de Córdoba, por ser los suelos ensayados para calibrar el equipo Torvane respecto de ensayo de compresión simple. Como resultado de este estudio, se obtuvo ábaco de correlación, siendo un dato de entrada el valor del “ $Su_{torvane}$ ” (abscisa) que deberá interceptar a la razón adimensional “ $Su_{torvane}/Su_{real}$ ” más ajustada según sea el tipo de suelo (limo o loess), en aras de obtener el resultado de salida

“ $Su_{real}$ ” (ordenada) preliminar, antes de realizar el ensayo de compresión simple.

La (Fig. 3) muestra este ábaco de correlación, para los limos y loess de la ciudad de Córdoba, incluyendo suelos de 40 sitios distintos. Se trazó una recta de correlación teórica, llamada recta “A”, siendo la misma una referencia para la interpretación que se resume en lo que sigue:

- El equipo Torvane se recomienda para un uso *a priori*, útil para obtener un valor expeditivo del “Su” de ciertos suelos de la ciudad de Córdoba.
- Dentro de estos suelos se encuentran los limos y los loess, además de sus respectivas variantes según sea su heterogeneidad, grado cementación, etc.
- La recta teórica “A” implica una correlación “1:1” “ $Su_{torvane}/Su_{real}$ ”, o sea que permite mediante el equipo Torvane obtener el mismo valor para “Su” que se obtendría mediante el ensayo de compresión simple a la condición de ensayo.
- Los suelos predominantemente loésicos que fueron ensayados con el equipo Torvane, son los suelos que más se ajustan a la correlación desarrollada. Los resultados de tal correlación se encontraron por debajo de la recta “A” (siendo menor a 1); o sea que los valores “ $Su_{torvane}$ ” son menores a los “ $Su_{real}$ ”. Por lo tanto, mediante Torvane se obtiene un parámetro de cálculo “Su” conservador.
- Los suelos limosos ensayados mediante el Torvane, no se ajustan a la correlación recomendada. Los valores para suelos limosos del “ $Su_{torvane}$ ” son mayores a los “ $Su_{real}$ ”, o sea los resultados de la correlación en estos suelos se encuentra por encima de la recta “A”. Por ende, con el Torvane se obtienen valores “Su” que no son conservadores.
- La ejecución de ensayo Torvane en suelos limosos, se ve afectada por la influencia de la resistencia friccional y la aleatoriedad del suelo con las paletas del equipo. Por lo tanto la distribución de tensión en las paletas no es confiable para la correlación aquí estudiada.
- Para los suelos limosos, se recomienda el ensayo de compresión simple convencional para obtener el valor de “Su”.
- Desde ya queda abierta la posibilidad de seguir investigando el uso del *Torvane test* en los suelos de Córdoba, buscando correlacionar este equipo con la compresión triaxial UU.

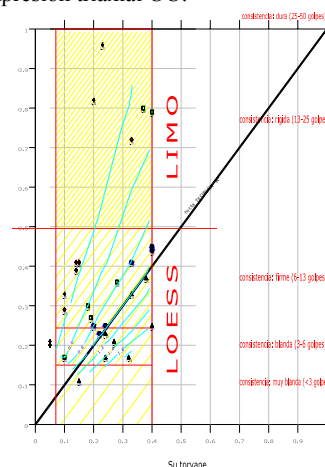


Figura 3: Ábaco de correlación de Sutorvane vs Soreal para limo y loess

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Carlos H. Serrano y a la Universidad Católica de Córdoba.

## REFERENCIAS

- BODENBENDER G., (1890). La cuenca del valle del río I en Córdoba. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Vol XII, pp 5-54.
- CLEMENTE S.P. y FINBARR A.O., (1981). Design considerations for collapsible soils, Journal of the geotechnical engineering division, ASCE, Vol 107, No GT3.
- ELE INTERNATIONAL. Operating instruction, Torvane shear device, modelo 26-2261.
- FREGUELLI J., (1923). Apuntes de geología cordobesa. Anuales de la Facultad de Ciencias Educación, Vol I, pp118-161.
- FREGUELLI J., (1955). Loess y limos pampeanos. Serie técnica y didáctica N° 7, Universidad Nacional de La Plata, Vol I, pp. 5 – 66.
- HACHICH W., FALCONI F.F., SAES J.L., FROTA R.G.O, CARVALHO C.S., NIYAMA S. (1998). Fundacoes, Teoría y práctica, Pini Lta, Brasil.
- MANZUR A., (1995). Aspectos Genéticos de los Suelos presentes en Atum Pampa y Athos Pampa, Sierras Grandes, Córdoba, Argentina. Tesis doctoral presentada en la Universidad Nacional de Córdoba, 1995.
- MOLL L. and ROCCA R., (1991). Properties of Loess in the Center of Argentina. IX Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Chile, Vol. 1, pp. 1-13.
- MUNIRAM BUDHU (2004). Foundation and earth structure. Artículo de internet, 2007.
- RICHARDS A. J. (1988). Analysis of vane test based on effective stress, American Society of testing and material, Philadelphia, pp. 131-149.
- ROCCA RICARDO J., REDOLFI EMILIO R. , TERZARIOL ROBERTO E., (2006). Características geotécnicas de los loess de Argentina. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6 (2).
- Sin Autores definidos, Capítulo 1 - MANUAL DE MECANICA DEL SUELO Y CIMENTACIONES, artículo de internet, 2007.